

УДК 621.879

И.В. Крупко*(Украина, Краматорск, Донбасская государственная машиностроительная академия)*

ОСОБЕННОСТИ НАГРУЖЕНИЯ ПРИВОДА В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЭКСКАВАТОРА С ЭКСЦЕНТРИКОВЫМ ШАГАЮЩИМ ДВИЖИТЕЛЕМ

Одним из направлений повышения технического состояния шагающих механизмов одноковшовых экскаваторов может быть применение четырехопорного движителя. Разработка технических решений по выбору отдельных параметров механизма и его привода может быть основана на теоретических исследованиях, проведенных на математических моделях экскаваторов, как пространственно перемещающейся массы и на сравнительном анализе результатов этих исследований с экспериментальными данными, полученными на физической модели четырехопорного шагающего механизма.

В настоящее время теории проектирования и расчета шагающих механизмов экскаваторов посвящены работы таких ученых, как профессора Н. Г. Домбровского [1], в которых рассмотрены разные конструкции, изложены подходы к расчетам и проектированию приводов кривошипных и эксцентриковых ходовых систем, обоснованию соотношения основных геометрических и весовых параметров. Вопросы расчета и проектирования шагающих механизмов передвижения рассмотрены, частично в работе Ю. А. Ветрова, Р. Ю. Подэрни. Вопросы повышения надежности исполнительных механизмов, рабочего и ходового оборудования изложены в работах профессора П. И. Коха [2].

Проведенный анализ литературных источников, патентных материалов, конструктивных схем и результатов исследований показал, что в современных методиках приводятся обоснования конструктивных и силовых параметров шагающих трехопорных механизмов передвижения, принцип работы которых значительно отличается от четырехопорных. Основное отличие состоит в том, что в четырехопорных механизмах с эксцентриковым приводом отсутствует перемещение опорной базы по грунту. Поэтому существующие математические модели не учитывают особенности формирования нагрузки на привод и опорные элементы, обусловленные конструкцией данного движителя.

Отличительной особенностью конструкции четырехопорных шагающих механизмов является наличие в таком движителе (рис. 1, а) двух пар опорных башмаков, внутренних 1, 1' и внешних 2, 2', приводимых в движение двумя парами эксцентриков 3, 4. В процессе движения в таком механизме происходит подъем и опускание рамы тележки 5 за счет попарно поднимаемых и опускаемых внутренних и внешних опорных башмаков, т.е. пара опорных башмаков (внешних лыж) приводится в движение вращающимися вокруг оси О-О эксцентриками 3, а вторая пара внутренних лыж – эксцентриками 4. При работе экскаватора в забое вес машины равномерно распределен на все четыре опорных башмака. Учитывая конструкцию такого движителя, в котором отсутствует значительное количество быстроизнашиваемых деталей (например, по сравнению с гусеничным ходом), а также меньшую массу по сравнению с шагающими трехопорными механизмами, ввиду отсутствия опорной базы) [5, 6], можно предположить, что в процессе эксплуатации такой движитель окажется более эффективным, чем существующие.

Для промышленного использования четырехопорного шагающего механизма, следует исследовать: особенности перемещения движителя для разных условий работы; влияние на энергоемкость процесса перемещения силовых, геометрических и кинематических параметров ходового оборудования; изменение нагрузок на привод и элементы ходового оборудования в процессе перемещения.

Для изучения процесса перемещения карьерного экскаватора с таким движителем на этапе теоретических исследований с учетом известных законов теории механизмов и машин и динамических процессов первоначально приняты следующие допущения:

- равнодействующая сил тяжести экскаватора находится на пересечении продольной и поперечной осей симметрии движителя и машины и равномерно распределена на обе пары лыж;
- силы тяжести лыж в расчете не учитываем;
- опорные башмаки свободно перемещаются вверх – вниз и вперед – назад, т.е. влияние сопротивления грунтов перемещению машины не учитывается;
- жесткость системы на первом этапе не учитываем;
- экскаватор совершает движения, идентичные движениям оси эксцентрика, т.е ось эксцентрика жестко связана с ходовой рамой и корпусом экскаватора;
- КПД движителя и привода передаточного механизма на данном этапе исследований не учитываем.

С учетом принятых допущений определим крутящий момент ($M_{кр}^z$) на эксцентриках при движении экскаватора по горизонтальной поверхности:

$$M_{кр}^z = \frac{G_z}{2} e \cos \alpha, \quad (1)$$

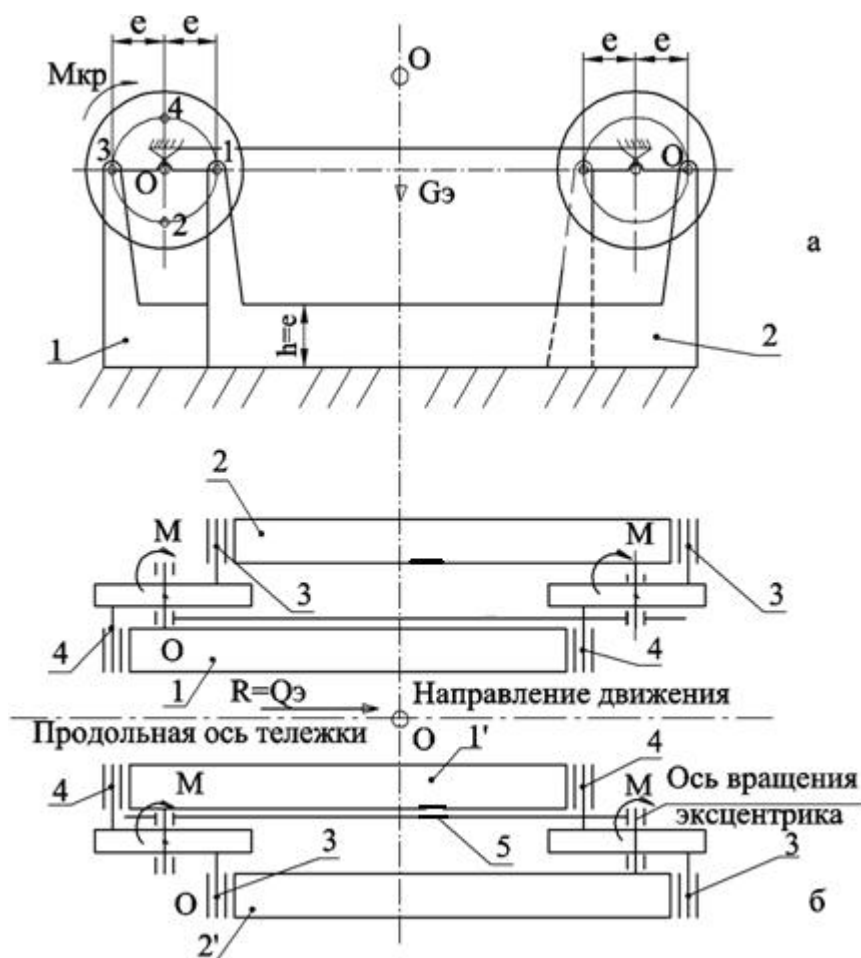


Рис. 1. Конструктивная схема шагающего механизма

где G_z – сила тяжести горной машины, кН; e – величина эксцентриситета, т.е. величина одного плеча эксцентрика, м; α – угол поворота оси эксцентрика, град.

Для анализа характера движения горной машины с четырехопорным шагающим движителем рассмотрим основные этапы движения машины за один цикл шагания, равный одному полному обороту эксцентрика, т.е. при изменении угла поворота от 0° до 360° . За исходное положение принимаем такое, при котором попарно сопряженные валы эксцентрика располагаются горизонтально (см. рис. 2). При вращении эксцентрика по часовой стрелке одна пара лыж (например внутренних) обеспечивает подъем машины и второй пары лыж (внешних) на высоту $h=2e$. Величина крутящего момента $M_{кр}$ в относительных единицах для машин массой 400 (1) и 300 т (2), рассчитанная по зависимости (1), на участке поворота эксцентрика на угол α от 0° до 90° ($0 - p/2$) изменится от $M_{кр, max}$ до $M_{кр}=0$ (рис. 2) и далее при повороте вала эксцентрика на угол α от 90° до 180° ($p/2 - p$), что происходит под действием сил тяжести машины, от $M_{кр}=0$ до $M_{кр, min}$ (см. рис. 2, а), т.е. двигатель привода в это время работает в генераторном режиме [5].

Анализ процесса перемещения показывает, что при повороте эксцентрика от исходного положения на угол $\alpha = p/2$ значение крутящего момента изменяется с $M_{кр, (max)}^e$ до $M_{кр, (0)}^e$. При $p/2 \leq \alpha \leq p$ крутящий момент будет реактивным и привод может работать в рекуперативном (генераторном) режиме, а в точке $\alpha = p$ происходит скачкообразный переход режима работы двигателя привода с рекуперативного в двигательный режим, а затем характер движения эксцентрика повторяется.

Таким образом, движение четырехопорного движителя и всего экскаватора изменяется по закону косинуса и имеет особенность резко изменять значение момента при $\alpha=\pi/2$, что может сказаться на величине динамических нагрузок на привод движителя.

При движении экскаватора под уклон максимальное и минимальное значения крутящего момента будут наблюдаться при других величинах угла α (рис. 2, б), т.е. происходит "запаздывание" момента на угол j , равный углу наклона плоскости к горизонту, и зависимость $M_{кр} = f(\alpha)$ будет иметь следующий вид:

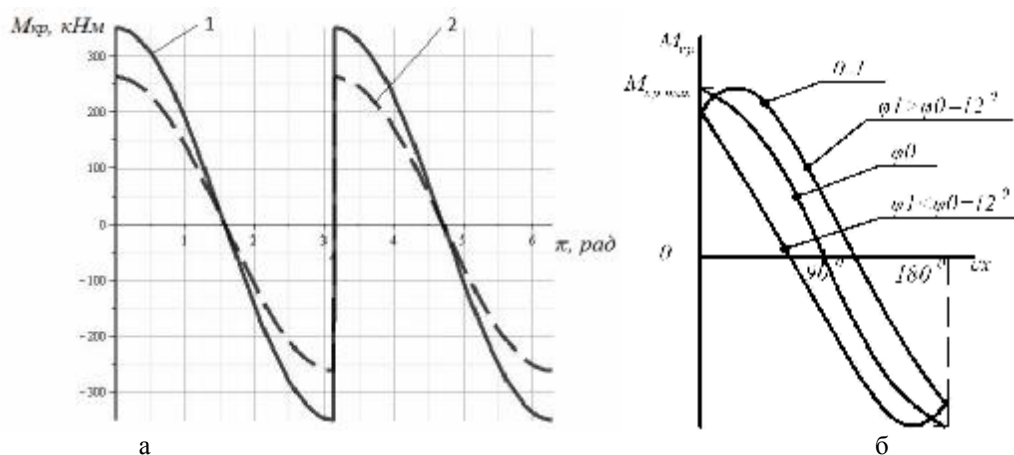


Рис. 2. Графики изменения $M_{кр}$ на эксцентриках 1 и 2 при движении движителя по горизонтали *а* и на подъем с поворотом *б*

$$M_{кр} = M_{кр.мах} \cdot \cos(a - j). \quad (2)$$

Из графика (рис. 2. б) видно, что с возрастанием угла наклона j увеличивается период работы привода на подъем экскаватора примерно на 20% и это ведет к уменьшению периода рекуперации энергии в системе привод.

Данные, полученные по зависимостям (1) и (2), позволили построить нагрузочную диаграмму электродвигателей (рис. 3) $M = f(\omega t)$, соответствующую половине времени одного цикла шагания экскаватора (т.е. $\alpha = 180^\circ$). На диаграмме можно выделить два характерных участка *AB* и *BC*, которые соответствуют двум фазам движения, описанным выше: *AB* – подъем машины; *BC* – опускание машины.

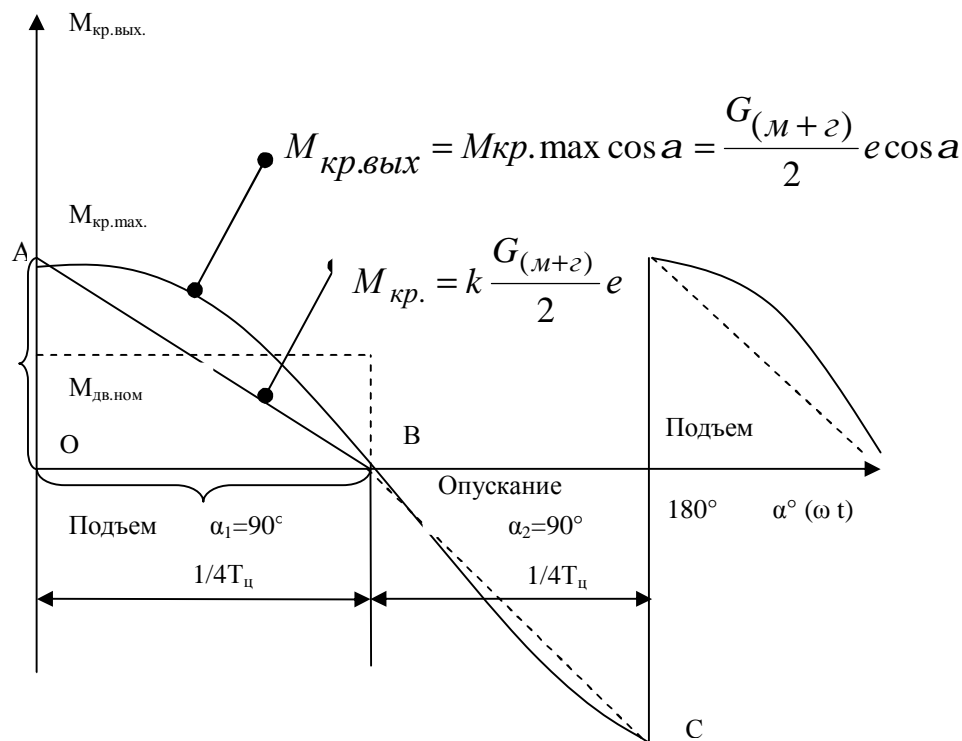


Рис. 3. График изменения крутящего момента ($M_{кр}$) на двигателе привода от угла поворота эксцентрика

Анализ графика нагружения электродвигателей позволяет выявить характер изменения крутящего момента $M_{дв}$, т.е. установить, что величина $M_{дв}$ за период поворота эксцентрика на угол $\alpha = 90^\circ$ изменяется в пределах от $M_{дв.мах} = M_{кр.мах}$ до $M_{дв} = 0$, при величине $M_{дв.мах} = M_{кр.мах}$ (кНм) определится из выражения:

$$M_{кр.мах} = \frac{G_m e}{n_{он} u y^3_{нм}}, \quad (3)$$

где G_m – вес экскаватора, кН; $n_{он}$ – число опорных башмаков, лыж, которые обеспечивают подъем машины, для четырехопорного механизма $n_{он}=2$; $u y$ – суммарное передаточное число трансмиссии.

При этом за период одного цикла электродвигатели привода могут работать с возможной кратковременной перегрузкой и в этом случае возможны два варианта учета коэффициента перегрузки двигателей ψ , который в общем случае определяется как:

$$y = \frac{M_{кр.мах}}{M_{дв.ном}}. \quad (4)$$

Из рис. 3 (прямая АВ) видно, что если бы изменение величины крутящего момента в процессе перемещения машины происходило по линейному закону, то максимальное значение крутящего момента на валу двигателя $M_{кр.мах} = y M_{дв.ном}$

Таким образом можно определить значения y для двигателей постоянного тока, которые применяются для шагающих механизмов передвижения экскаваторов.

Следующим этапом теоретических исследований следует изучить характер изменения мощности привода и наметить основные пути снижения энергоемкости процесса перемещения/

Список литературы

1. Домбровский, Н. Г. Экскаваторы. Общие вопросы теории, проектирования, исследования и применения [Текст] / Н. Г. Домбровский – М.: Машиностроение, 1969. – 318 с.
 2. Кох, П. И. Надежность механического оборудования карьеров [Текст] / П. И. Кох – М.: Недра, 1978. – 189 с.
 3. Гармаш, Н.З. Конструкция, основы теории и расчета шагающего ходового оборудования горнотранспортных машин [Текст] / Н. З. Гармаш, Ю. И. Бережной. – М. : Недра, 1971. – 144 с.
 4. Подэрни, Р. Ю. Горные машины и комплексы для открытых работ [Текст]: учеб. пособие : в 2-х Т. / Р. Ю. Подэрни – 4-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – Т.1. – 422 с.
 5. Буренко, А. Г. Некоторые особенности движения четырехопорного шагающего механизма передвижения [Текст] / А. Г. Буренко, И. В. Крупко // Подъемно-транспортная техника. – 2008. – № 3 (27). – С. 25–32.
- Франчук В. П. Определение зависимости эффективности вибрационного грохочения от режимных и конструктивных параметров [Текст] / В. П. Франчук, В. П. Надутый, А. И. Егурнов // Збагачення корисних копалин : наук.-техн. зб. – 2008. – (Вип. 33 (74)). – С. 56–61.

Рекомендовано до друку проф. Блохіним С.Є.